BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kekeringan

Kekeringan menjadi suatu bencana yang secara perlahan menggerogoti kesejahteraan tanpa disadari. Layaknya bencana yang tidak dapat dicegah secara sempurna yang bisa dilakukan hanyalah melalui penanggulangan dan menambah jangka waktu hal tersebut berulang. Maka penting bagi kita untuk mengetahui lebih lanjut mengenai apa itu kekeringan dan berbagai hal yang berkaitan dengannya[4].

Bencana menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 adalah sebuah peristiwa atau rangkaian peristwa yang mengancam dan menggangu kehidupan masyarakat, bisa disebabkan oleh faktor alam ataupun non alam, sehingga menimbulkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta, dan dampak psikologis[4].

Kekeringan adalah salah satu bencana yang terjadi secara alamiah maupun karena manusia. Definisi kekeringan secara umum adalah kondisi di mana suatu wilayah, lahan, maupun masyarakat mengalami kekurangan air sehingga tidak dapat memenuhi kebutuhannya. Menurut Parwata dkk. (2014), kekeringan merupakan hubungan antara ketersediaan air di bawah rata-rata minimal kebutuhan air untuk hidup, lingkungan, maupun ekonomi[4].

Ada beberapa indikator yang digunakan para pakar untuk melihat apakah suatu kondisi disebut kekeringan atau tidak. Indikator ini membantu pemerintah daerah untuk merencanakan mitigasi bencana kekeringan yang tepat sesuai kondisinya. Berikut ini jenis-jenis kekeringan[4]:

1. Kekeringan meteorologi

Kekeringan meteorologi ini dipengaruhi minimnya kelembaban cuaca yang diakibatkan curah hujan minim dan kondisi lain seperti angin fohn, suhu tinggi dan lainnya. Hal ini dapat dilihat dari kondisi rata-rata daerah dalam jangka waktu panjang. Biasanya indikator yang digunakan adalah potensi krisis air berkepanjangan. Kekeringan meteorologi dapat berawal dan berakhir dengan cepat.

2. Kekeringan pertanian

Kekeringan ini terjadi saat kelembaban udara berkurang drastis sampai mempengaruhi pada kelembaban tanah. Dalam hal ini tanaman dan hewan terpengaruh dan evaporasi juga terpengaruh. Tanah retak-retak adalah bukti kekeringan melanda area pertanian.

3. Kekeringan hidrologi

Kekeringan ini terjadi akibat kurangnya air permukaan dan suplai air di dalam tanah. Kekeringan ini biasanya tidak terjadi bersamaan dengan kekeringan meteorologi. Di sisi lain penurunan kuantitas dan kualitas air permukaan dan sub permukaan adalah dampak dari kekeringan meteorologi.

4. Kekeringan sosial ekonomi

Kekeringan ini terjadi ketika pasokan beberapa barang dan jasa seperti energi, makanan dan air minum berkurang karena perubahan kondisi cuaca dan hidrologi. Membludaknya populasi manusia dan meningkatnya kebutuhan barang dan jasa membuat volume air menyusut. Butuh waktu lama untuk merecovery kekeringan ini.

Ada beberapa faktor yang dapat menimbulkan terjadinya kekeringan[4], yaitu:

1. Kurangnya curah hujan

Kekeringan bisa terjadi bila minimnya curah hujan (hujan dan salju) di satu daerah. Perhatikan bahwa kekurangan hujan saja tidak berarti bisa disebut kekeringan. Beberapa daerah bisa berbulan-bulan tanpa hujan, dan itu akan terlihat 'normal' bagi mereka.

2. Aliran air permukaan sedikit

Beberapa daerah juga terdistribusi dengan baik dengan air permukaan (sungai dan sungai) yang memiliki sumber dari gunung dan daerah aliran sungai yang jauh. Permukaan air ini bisa mengering jika aliran dari sumbernya ke hulu terpengaruh. Debu hidrolik dan sistem irigasi merupakan beberapa kegiatan ekonomi yang dapat mengurangi jumlah air yang mengalir ke daerah lain di hilir.

3. Kegiatan manusia

Hutan (pohon) memainkan peran kunci dalam siklus air, karena membantu mengurangi penguapan, menyimpan air dan juga berkontribusi pada kelembaban atmosfer dalam bentuk transpirasi. Menebang pohon (deforestasi) atas motif ekonomi, akan meningkatkan laju air permukaan menjadi penguapan. Deforestasi juga akan mengurangi kemampuan tanah untuk menahan air dan memudahkan kekeringan terjadi. Hal Ini bisa memicu kondisi pengeringan, terutama untuk badan air yang lebih kecil. Menebang pohon diketahui bisa mengurangi potensi daerah aliran sungai.

4. *Global Warming*

Meskipun beberapa orang tidak menerima bahwa suhu rata-rata bumi telah meningkat, perlu dicatat bahwa tindakan manusia telah memberi kontribusi pada lebih banyak gas rumah kaca di atmosfer. Akibatnya suhu yang lebih hangat, sering mengakibatkan lebih banyak kekeringan dan kebakaran semak/lahan. Kondisi ini juga cenderung mempercepat kondisi kekeringan.

Berdasarkan uraian diatas, batasan tentang kekeringan bisa bermacam-macam tergantung dari cara meninjaunya, tetapi ada tiga faktor yang diperhatikan dalam membatasi pengertian tentang kekeringan, yaitu tanaman, tanah, dan air sehingga dalam penelitian ini menggunakan batas kekeringan pertanian, yaitu berkurangnya kandungan air dalam tanah (lengas tanah) yang tak mampu memenuhi kebutuhan air untuk menopang pertumbungan tanaman pada suatu periode tertentu.

2.2 Lahan Sawah dan Padi

Lahan sawah didefinisikan sebagai lahan yang digunakan untuk bertanam padi sawah yang digenangi, baik terus-menerus sepanjang tahun maupun bergiliran dengan tanaman palawija. Istilah lahan sawah bukan merupakan istilah taksonomi, tetapi merupakan istilah umum seperti halnya lahan hutan, lahan perkebunan, lahan pertanian, dan sebagainya. Segala macam jenis tanah dapat disawahkan asalkan air cukup tersedia. Padi sawah juga ditemukan pada berbagai macam iklim yang jauh lebih beragam dibandingkan dengan jenis tanaman lain, sehingga tidak mengherankan bila sifat tanah sawah sangat beragam sesuai dengan sifat tanah asalnya[35]. Berdasarkan segi pengairannya lahan sawah dibagi menjadi sawah tadah hujan dan sawah irigasi. Sawah tadah hujan adalah sawah yang begantung pada musim hujan, sedangkan sawah irigasi adalah sawah yang bergantung dari saluran irigasi[35].

Tanaman padi adalah sejenis tumbuhan yang sangat mudah ditemukan, terutama di daerah pedesaan. Hamparan persawahan dipenuhi dengan tanaman padi. Sebagian besar menjadikan padi sebagai sumber makanan pokok. Padi merupakan tanaman yang termasuk dalam genus *Oryza L.*yang meliputi lebih dari 25 spesies, tersebar di daerah tropis dan subtropis[36]. Tanaman padi termasuk tanaman yang berumur pendek. Biasanya hanya berumur kurang dari satu tahun dan berproduksi satu kali. Setelah tanaman padi berbuah dan dipanen, padi tidak tumbuh seperti semula, tetapi tanaman padi tersebut akan mati. Berdasarkan jenis lahan untuk budidayanya, padi dibagi menjadi dua jenis, yaitu padi sawah dan padi gogo[36].

Padi memiliki beberapa fase selama masa pertumbuhan [37], antara lain:

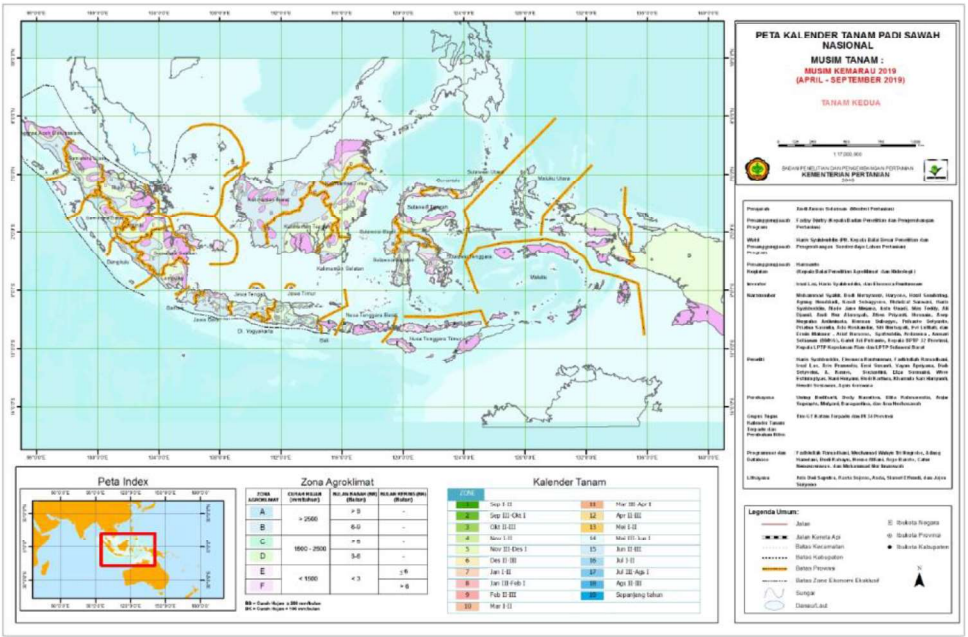
1. Fase awal pertumbuhan padi, dimana lahan sawah didominasi oleh air karena penggenangan (fase tanam / fase air) dengan umur < 3 minggu setelah tanam (MST).
2. Fase pertumbuhan vegetatif, ditandai dengan semakin lebatnya daun

tanaman padi yang menutupi seluruh lahan sawah. Pada fase ini penutupan lahan didominasi warna hijau antara 3 MST hingga 6 MST.

3. Fase pertumbuhan generatif, dimana kondisi lahan sawah yang semula didominasi daun berwarna hijau akan digantikan dengan butir-butir padi yang berwarna kuning antara 6 – 14 MST.
4. Fase Bera, dimana lahan menjadi bera setelah panen selama jangka waktu 14 – 17 MST.

2.3 Kalender Tanam Terpadu

Kalender Tanam Terpadu Modern v.2 7 2019 yang diterbitkan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian - Kementrian adalah pedoman atau alat bantu yang memberikan informasi spasial dan tabular tentang prediksi musim, awal tanam, pola tanam, luas tanam potensial, wilayah rawan banjir dan kekeringan, serangan OPT, rekomendasi varietas dan kebutuhan padi dan palawija, serta rekomendasi dosis dan kebutuhan pupuk dan rekomenendasi alsintan berdasarkan prediksi variabilitas dan perubahan iklim [43]. Peta Kalender Tanam Padi Sawah Nasional 2019 yang diterbitkan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian - Kementrian Pertanian dapat dilihat pada Gambar 2.10 [43].



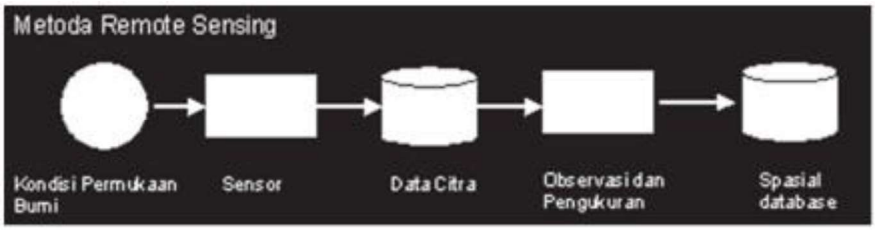
Gambar 2. 1 Peta Kalender Tanam Padi Sawah Nasional 2019

2.4 Penginderaan Jauh Pasif

Penginderaan jauh atau inderaja (*remote sensing*) adalah seni dan ilmu untuk mendapatkan informasi tentang objek, area atau fenomena melalui analisa terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah ataupun fenomena yang dikaji[15]. Alat yang dimaksud adalah alat pengindera atau sensor. Pada umumnya sensor dibawa oleh wahana baik berupa pesawat, balon udara, satelit maupun jenis wahana yang lainnya[15]. Hasil perekaman oleh alat yang dibawa oleh suatu wahana ini selanjutnya disebut sebagai data penginderaan jauh.

Secara umum dapat dikatakan bahwa penginderaan jauh dapat berperan dalam mengurangi secara signifikan kegiatan survei terestrial dalam inventarisasi dan *monitoring* sumber daya alam. Kegiatan survei terestris dengan adanya teknologi ini hanya dilakukan untuk membuktikan suatu jenis objek atau fenomena yang ada di lapangan untuk disesuaikan dengan hasil analisa data.

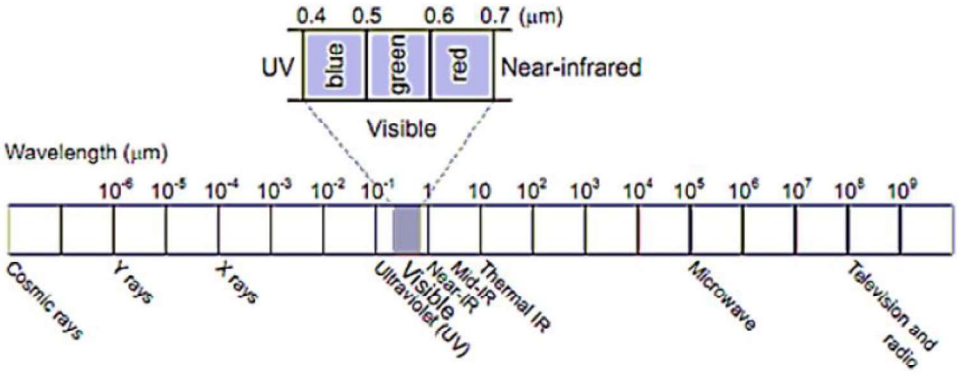
Metoda penginderaan jauh (*Remote Sensing*), merupakan pengukuran dan pengambilan data spasial berdasarkan perekaman sensor pada perangkat kamera udara, *scanner*, atau radar. Contoh hasil perekaman yang dimaksud adalah citra. Bagan alur pengambilan data dengan metode penginderaan jauh dijelaskan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Alur Pengambilan Data Metode Penginderaan Jauh (Sumber: Lillesand dan Kiefer,1979)

Penginderaan jauh yang menggunakan tenaga matahari dikenal dengan sistem penginderaan jauh pasif. Tenaga matahari yang memancar ke segala

penjuru termasuk ke permukaan bumi memancar dalam bentuk tenaga elektromagnetik yang membentuk berbagai panjang gelombang (λ). Gelombang elektromagnetik diklasifikasikan menjadi spektrum dan saluran (*band*). Panjang gelombang elektromagnetik berbeda-beda sehingga peka terhadap berbagai macam objek yang ada di permukaan bumi. Spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut[15].



Gambar 2. 3 Spektrum Elektromagnetik Penginderaan Jauh Pasif
(Sumber: Lillesand dan Kiefer,1979)

Apabila tenaga elektromagnetik mengenai suatu objek maka akan terjadi suatu proses interaksi fisi. Proses ini yang terjadi adalah pemantulan (refleksi), penyerapan (absorpsi), dan penerusan (transmisi). Proses interaksi tersebut mengikuti prinsip kekekalan energi yang dapat dituliskan dalam persamaan berikut [34]:

$$EI(\lambda) = ER(\lambda) + EA(\lambda) + ET(\lambda) \quad (2.3.1)$$

Keterangan:

EI (λ) = tenaga radiasi yang mengenai objek

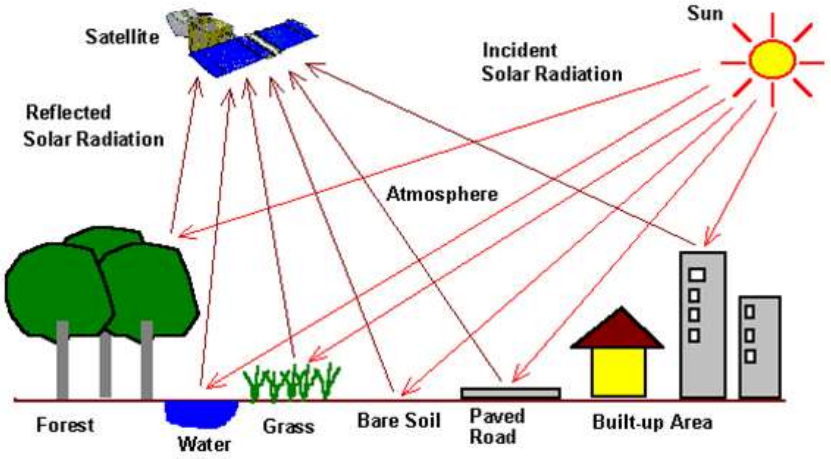
ER (λ) = tenaga radiasi yang dipantulkan

EA (λ) = tenaga radiasi yang diserap

ET (λ) = tenaga radiasi yang ditransmisikan

Radiasi matahari tersebut memancar kepermukaan bumi terhambat oleh atmosfer bumi, sehingga bagian radiasi sebagai tenaga tersebut dipantulkan kembali, dihamburkan, diserap, dan diteruskan. Oleh karena itu, tenaga yang berasal dari matahari yang sampai ke permukaan bumi hanya sebagian kecil dan atmosfer berfungsi sebagai *filter* dan penghambat masuknya radiasi

matahari[10]. Salah satu satelit yang digunakan dalam penginderaan jauh pasif, yaitu satelit Landsat. Ilustrasi penginderaan jauh pasif disajikan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Sistem Penginderaan Jauh Pasif
(Sumber: Sutanto, 1986)

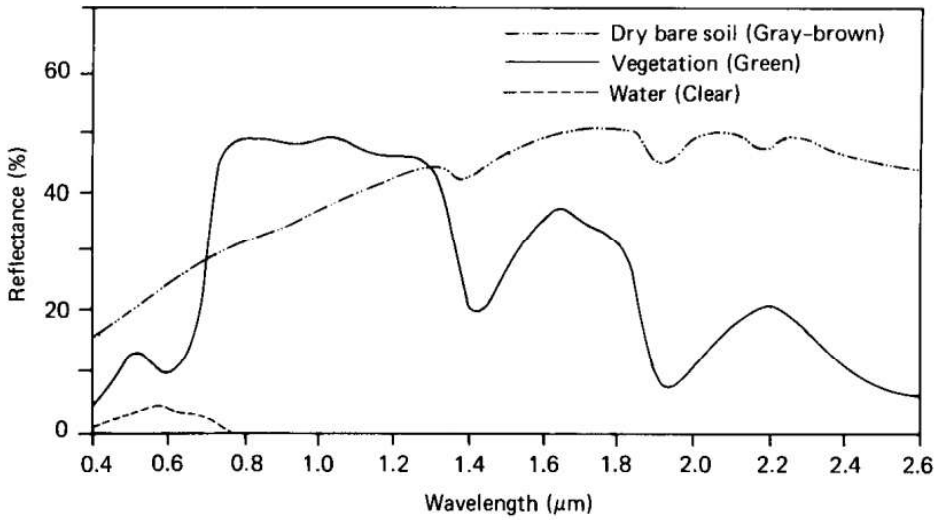
Sistem penginderaan jauh merupakan sistem penyadapan objek permukaan bumi sehingga pantulan objek yang terekam oleh sensor adalah objek kajiannya. Karakteristik pantulan objek yang disadap oleh sensor menggunakan berbagai panjang gelombang, sehingga sistem penginderaan jauh banyak bekerja pada gelombang pantul. Besar tenaga gelombang pantul dari objek yang terekam menurut Lillesand dkk. (2005) adalah sebagai berikut [34]:

$$ER(\lambda) = EI(\lambda) - EA(\lambda) + ET(\lambda) \quad (2.3.2)$$

Berdasarkan uraian diatas, tenaga radiasi yang dipantulkan sama dengan tenaga radiasi yang ditransmisikan. Besarnya nilai pantulan spektral R (λ) setiap objek tidak sama, artinya semakin besar tenaga elektromagetik yang dipantulkan oleh objek maka nilai pantulan objek tersebut semakin besar. Benda yang banyak memantulkan tenaga tergambar relatif cerah sedangkan benda yang memantulkan sedikit tenaga tergambar relatif gelap karena tenaga banyak yang terserap dan ditransmisikan. Besarnya nilai pantulan spektral sebuah benda dapat dihitung dengan membandingkan tenaga yang dipantulkan dengan tenaga yang diterima oleh benda dengan persamaan sebagai berikut [34]:

$$R(\lambda) = \frac{ER(\lambda)}{ER(\lambda)} + 100\% \quad (2.3.3)$$

Berdasarkan prinsip tenaga pantulan yang ditentukan oleh suatu benda, maka setiap benda mempunyai nilai pantulan yang berbeda bergantung pada karakteristik dan kondisi benda. Prinsip ini yang digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengenal dan membedakan objek yang terekam oleh sensor sistem penginderaan jauh. Pengenalan besarnya pantulan nilai objek pada berbagai panjang gelombang seperti pantulan tanah, air keruh, dan vegetasi dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut [34]:



Gambar 2. 5 Kurva pantulan objek air keruh, tanah, dan vegetasi
(Lillesand et.al, 2005)

Berdasarkan gambar kurva pantulan tersebut dapat dijelaskan bahwa besarnya nilai pantulan objek yang direkam oleh sensor dipengaruhi oleh penggunaan panjang gelombang tertentu yang mana dalam sistem penginderaan jauh disebut kanal atau *band* [34].

2.5 Citra Landsat 8

Data satelit Landsat telah dihasilkan, arsip, dan didistribusikan oleh *US Geological Survey* (USGS) sejak tahun 1972. Pengguna bergantung pada data untuk studi sejarah perubahan permukaan tanah, tetapi memikul beban pasca produksi pengolahan untuk menciptakan aplikasi-siap dataset. Sesuai dengan pedoman yang ditetapkan melalui sistem mengamati Iklim Global, USGS telah memulai produksi dari tingkat yang lebih tinggi Landsat data produk untuk mendukung pendidikan perubahan permukaan tanah. Salah

satu produk tersebut adalah *surface reflectance*, dimana nilai spektral dapat diturunkan lebih lanjut untuk memberikan kemudahan kepada pengguna *remote sensing*.

USGS saat ini menawarkan produk ini berasal dari Landsat *surface reflectance* indeks spektral 30 meter (m) untuk Landsat 4-5 *Thematic Mapper* (TM), Landsat 7 *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM +) dan Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI) / *Thermal Infrared Sensor* (TIRS).

Citra Landsat 8 diketahui memiliki 11 *band*. Diantaranya *Visible band, Near Infrared (NIR), Short Wave Infrared* (SWIR), *Panchromatic* dan *Thermal*. Spesifikasi dari band pada citra Landsat 8 dapat dilihat pada tabel 2.1 dan kombinasi pada setiap bandnya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Band Satelit Landsat 8 dan Kegunaannya
(Sumber: USGS)

Band	***Wavelength***	***Resolutions***	***Useful for mapping***
Band 1 - Coastal Aerosol	0.43-0.45	*30 m*	*Coastal and aerosol studies*
Band 2 - Blue	0.45-0.51	*30 m*	*Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and decicuous from coniferous vegetation*
Band 3 - Green	0.53-0.59	*30 m*	*Emphazies peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor*
Band 4 - Red	0.64-0.67	*30 m*	*Discriminates vegetation slopes*
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	*30 m*	*Emphazies biomass content and shorelines*
Band 6 - Short-wave Infrared (SWIR) 1	1.57-1.65	*30 m*	*Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds*
Band 7 - Short-wave Infrared (SWIR) 2	2.11-2.29	*30 m*	*Improved moisture content of soil and vegetation and thin cloud penetration*
Band 8 - Panchromatic	0.50-0.68	*15 m*	*15 meters resolution, sharper image definition*
Band 9 - Cirrus	1.36-1.38	*30 m*	*Improved detection of cirrus cloud contamination*
Band 10 - TIRS 1	10.60-11.19	*100 m*	*100 meters resolution, thermal mapping and estimated soil mosture*

Band 11 - TIRS 2	11.5-12.51	*100 m*	*100 meters resolution, improved thermal mapping and estimated soil mosture*

Tabel 2. 2 Kombinasi band Landsat 8 dan pengaplikasiannya
(Sumber: USGS)

Aplikasi	**Kombinasi Band**
Natural Color	4, 3, 2
False Color (Urban)	7, 6, 4
Color Infrared (Vegetation)	5, 4, 3
Agriculture	6, 5, 2
Atmospheric Penetration	7, 6, 5
Healthy Vegetation	5, 6, 2
Land/Water	5, 6, 4
Natural With Atmpospheric Removal	7, 5, 3
Shortwave Infrared	7, 5, 4
Vegetation Analysis	6, 5, 4

2.3.1 Struktur koleksi Landsat pada Google Earth Engine

USGS menghasilkan data dalam 3 tingkatan (kategori) untuk setiap satelit[18]:

Tabel 2. 3 Tingkatan Data Citra Landsat 8
(Sumber: Google Earth Engine*)*

Tier 1 (T1)	Data yang memenuhi persyaratan kualitas geometris dan radiometrik
Tier 2 (T2)	Data yang tidak memenuhi persyaratan *Tier* 1
Real Time (RT)	Data yang belum dievaluasi (dibutuhkan sebanyak sebulan).

Untuk memungkinkan akses ke data T1 tervalidasi dan data real-time terbaru bersama-sama, kami telah mengelompokkan adegan ke dalam koleksi berdasarkan *tier* dan satelit. Contoh untuk Landsat 8 adalah sebagai berikut[18]:

Tabel 2. 4 Kode ID Citra Landsat 8
(Sumber: Google Earth Engine*)*

ID	Deskripsi
LANDSAT/LC08/C01/T1_RT	*Landsat 8, Collection 1, Tier 1 + Real Time*

LANDSAT/LC08/C01/T1	*Landsat 8, Collection 1, Tier 1 only*
LANDSAT/LC08/C01/T2	*Landsat 8, Collection 1, Tier 2 only*

Setiap koleksi di atas berisi data mentah (yaitu, skala, pada sensor cahaya). Selain itu, untuk setiap koleksi yang berisi citra T1 atau T2, produk TOA (*top-of-atmosphere reflectance*) dan SR (*surface reflectance*) yang ditawarkan. Tabel berikut ini menjelaskan ID koleksi untuk koleksi TOA dan SR menggunakan data Landsat 8[18]:

Tabel 2. 5 Kode ID Citra Landsat 8 TOA dan SR

(Sumber: Google Earth Engine)

ID	Deskripsi
LANDSAT/LC08/C01/T1_RT_TOA	*Landsat 8, Collection 1, Tier 1 + Real Time, TOA*
LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA	*Landsat 8, Collection 1, Tier 1 only, TOA*
LANDSAT/LC08/C01/T1_SR	*Landsat 8, Collection 1, Tier 1 only, SR*
LANDSAT/LC08/C01/T2_TOA	*Landsat 8, Collection 1, Tier 2 only, TOA*
LANDSAT/LC08/C01/T2_SR	*Landsat 8, Collection 1, Tier 2 only, SR*

Data ini ada untuk Landsat 4, 5, 7, dan 8. Ganti ' LC08 ' dalam definisi koleksi di atas dengan ID dari tabel berikut untuk mengambil koleksi untuk berbagai satelit[18].

Tabel 2. 6 Kode ID Citra Landsat

(Sumber: Google Earth Engine)

ID	Deksripsi
LT04	*Landsat 4, Thematic Mapper (TM)*
LT05	*Landsat 5, Thematic Mapper (TM)*
LE07	*Landsat 7, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)*
LC08	*Landsat 8, Operational Land Imager (OLI)*

2.6 *Land Surface Temperature* (LST)

Suhu permukaan tanah atau *Land Surface Temperature* (LST) merupakan keadaan yang dikendalikan oleh keseimbangan energi permukaan, atmosfer, sifat termal dari permukaan, dan media bawah permukaan tanah.

Suhu permukaan suatu wilayah dapat diidentifikasikan dari citra satelit Landsat yang diekstrak dari *band thermal*. Dalam penginderaan jauh, suhu permukaan tanah dapat didefinisikan sebagai suhu permukaan rata-rata dari suatu permukaan, yang digambarkan dalam cakupan suatu piksel dengan berbagai tipe permukaan yang berbeda[12].

Ekstraksi suhu permukaan dilakukan untuk mendapatkan informasi sebaran suhu permukaan melalui pengolahan citra pada saluran termal citra Landsat 8. Ekstraksi dilakukan dengan cara mengkonversi nilai digital (*digital number*/DN) menjadi nilai radian. Nilai radian merupakan besarnya nilai pancaran energi yang dipancarkan oleh permukaan benda, yang kemudian dapat terekam oleh sistem sensor satelit[13].

Besarnya suhu permukaan tanah dipengaruhi oleh panjang gelombang infarmerah *thermal*. Citra Landsat 8 memiliki dua *band thermal* yang dirancang untuk mendukung pengembangan informasi suhu permukaan tanah. Nilai suhu permukaan tanah dapat ditentukan menggunakan metode *Single Window* yang memanfaatkan satu saluran yaitu *band* 10. Berikut algoritma suhu permukaan tanah (2.6.1)[3]:

$$Ts = \frac{Tb}{1 + \left(\frac{\lambda Tb}{\delta}\right) In\varepsilon} \tag{2.6.1}$$

Keterangan:

Ts = Suhu permukaan tanah (ºC)

Tb = *Temperature Brightness* (ºC)

λ = Nilai tengah panjang gelombang band 10

$^{\delta} = hc/\sigma$ = 1.438 x 10-2 mK

h = Konstanta Planck (6.26 x 10-34Jsec)

c = Kecepatan Cahaya (2.998 x 108 ms-1)

σ = Konstanta Stefan-Boltzman (1.38 x 10-23 J K-1)

ε = Emisivitas objek

Suhu permukaan tanah sangat dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi, dimana suhu permukaan akan semakin rendah jika jumlah kerapatan vegetasi semakin rapat, begitupun sebaliknya[3]. Suhu permukaan tanah yang meningkat menyebabkan pertambahan evapotranspirasi, sehingga ketersediaan air bagi tanaman akan berkurang. Tingkat kehijauan tanaman akan mengalami penurunan untuk menghadapi kondisi kekeringan tersebut. Selain itu, nilai suhu permukaan tanah menunjukkan korelasi positif dan berbanding lurus dengan kerapatan bangunan. Semakin tinggi kerapatan, maka semakin tinggi pula nilai suhu permukaan tanah[3].

2.7 Indeks Vegetasi

Campbell (2011) menjelaskan, Indeks vegetasi atau VI (*vegetation index*), dianalisa berdasarkan nilai-nilai kecerahan digital, dilakukan untuk percobaan mengukur biomassa atau vegetatif. Sebuah VI terbentuk dari kombinasi dari beberapa nilai spektral dengan menambahkan, dibagi, atau dikalikan dengan cara yang dirancang untuk menghasilkan nilai tunggal yang menunjukkan jumlah atau kekuatan vegetasi dalam piksel.

- *Normalized Different Vegetation Index* (NDVI)
  NDVI adalah indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman. NDVI dikalkulasikan dari nilai reflektansi saluran merah (*Band* 4) dan saluran NIR (*Near-Infrared Radiation*) (*Band* 5) yang telah lama digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi(2.4.2). Nilai indeks ini berkisar dari -1 sampai 1.

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \qquad (2.7.1)$$

  Keterangan:
  NIR = Reflektansi saluran NIR (Band 5)
  Red = Reflektansi saluran merah (Band 4)

  Metode ini dapat diformulasikan untuk mengetahui tingkat vegetasi baik vegetasi rendah (kering) hingga vegetasi tinggi[3]. Klasifikasi

NDVI dapat dilihat pada Tabel 2.7 [23].

Tabel 2. 7 Klasifikasi NDVI

Kelas	Nilai NDVI	Tingkat Kerapatan
1	-1 – 0	Lahan Tidak Bervegetasi (Awan, Badan Air, Non Vegetasi)
2	0 – 0,25	Vegetasi Jarang
3	0,25 – 0,55	Vegetasi Cukup Rapat
4	0,55 – 0,78	Vegetasi Rapat
5	0,78 – 1	Vegetasi Sangat Rapat

Nilai NDVI memiliki hubungan dengan fase tumbuh padi. Nilai NDVI tertentu menunjukkan fase pertumbuhan padi dan yang rentangnya ditentukan oleh umur dari umur tanam atau minggu setelah tanam (MST). Klasifikasi fase tumbuh padi berdasarkan nilai NDVI dan umur tanam dapat dilihat pada Tabel 2.8 [33].

Tabel 2. 8 Klasifikasi Fase Tumbuh Padi berdasarkan nila NDVI dan umur tanam (MST)

Fase Tumbuh	Nilai NDVI	Umur Tanam (MST)
Air/Lahan Tak Bervegetasi	< 0,137	< 3
Vegetatif	0,137 – 0,736	3 – 6
Generatif	0,736 – 0,167	6 – 14
Bera	0,138 – 0,265	14 – 17

- *Temperature Vegetation Dryness Index* (TVDI)

  Temperature Vegetation Dryness Index adalah salah satu indikator kekeringan pertanian yang telah digunakan dalam penginderaan jauh[1]. TVDI merupakan salah satu indeks kekeringan berdasarkan kepekaan spektrum cahaya tampak (*visible*) dan inframerah dekat (*near infrared*) terhadap perilaku vegetasi dan kondisi stres vegetasi yang berkaitan dengan kekurangan air. Penelitian Sandholt dkk. (2002) untuk wilayah kajian Ferlo di Senegal tahun 1990

menghasilkan suatu pola spasial TVDI yang dibandingkan dengan hasil simulasi kelembaban tanah dari model hidrologi MIKE SHE1[1]. TVDI mampu menggambarkan variasi kelembaban secara spasial pada skala yang lebih akurat daripada hasil yang diperoleh dari model hidrologi tersebut. Wang dkk. (2004) menggunakan nilai TVDI untuk membandingkan tingkat kekeringan di tiga wilayah pertanian di China. Evaluasi penggunaan TVDI dalam pemantauan kelembaban tanah dilakukan dengan analisis regresi linear antara nilai TVDI dengan kelembaban tanah yang telah diukur di 90 stasiun cuaca di China[1].

Nilai parameter indeks TVDI diperoleh dari hubungan antara dua parameter dalam penentuan indeks kekeringan yaitu indeks vegetasi *Normalized Different Vegetation Index* (NDVI) dan suhu permukaan tanah. Menurut Sandholt dkk. (2002), nilai TVDI dihasilkan dari parameter suhu permukaan (Ts) dan indeks vegetasi (NDVI). Keduanya dapat memberikan informasi untuk perkirakan status kelembaban tanah pada skala regional[1].

Nilai TVDI memiliki korelasi linier negatif yang signifikan terhadap nilai kelembaban tanah yang diukur. Patel dkk. (2009) menunjukkan hubungan yang signifikan dan korelasi negatif antara TVDI dan kelembaban tanah *in situ* pada pertumbuhan tanaman tebu, terutama pada tutupan vegetasi yang sedikit. Chen dkk. (2011) membuktikan bahwa indeks TVDI layak digunakan untuk memantau kelembaban tanah permukaan secara dinamis selama musim tanam di Dataran Huang-huai-hai (HHH). Hubungan nilai TVDI dengan data kelembaban tanah *in situ* untuk beberapa kedalaman bernilai negatif[1].

Nilai TVDI yang diperoleh berkisar antara 0 hingga 1. Nilai 1 menyatakan sisi kering (ketersediaan air terbatas) dan 0 menyatakan

sisi basah (ketersediaan terjamin). Algoritma TVDI menggunakan persamaan sebagai berikut[1]:

$$TVDI = \frac{Ts - Tsmin}{Tsmax - Tsmin} \quad (2.7.2)$$

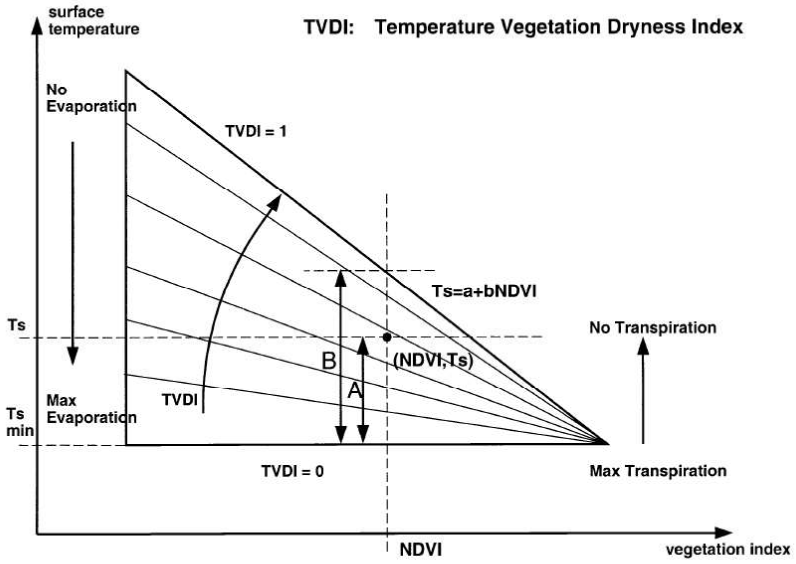
Keterangan:

Ts = Suhu permukaan tanah yang diamati oleh suatu piksel Suhu permukaan tanah

Ts_{min} = Suhu permukaan tanah minimum, mendefinisikan sisi basah

Ts_{max} = Suhu permukaan tanah maksimum, mendefinisikan sisi kering (Ts_{max} = a NDVI+b)

Koefisien a,b = Koefisien linier dan sudut dari garis lurus yang mewakili tepi kering,

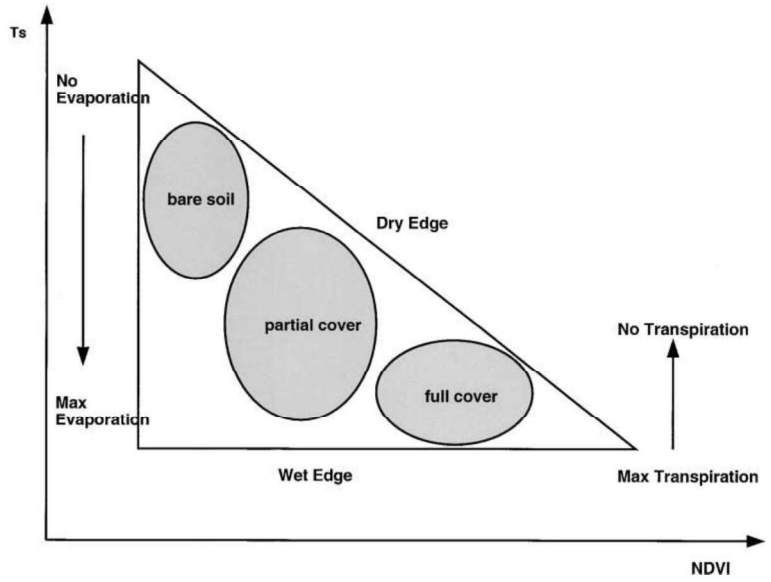


Gambar 2. 6 Definisi TVDI. TVDI untuk piksel tertentu (NDVI/TS) diperkirakan sebagai proporsi antara garis A dan B (Lihat EQ. (2.7.2)).

Pada suatu lahan, umumnya indeks vegetasi *Normalyzed Different Vegetation Index* (NDVI) akan meningkat seiring dengan menurunnya suhu permukaan (LST). Hal ini berkaitan dengan kemampuan vegetasi untuk mengatur suhunya melalui perpindahan panas laten yaitu perpindahan panas melalui evapotranspirasi. Radiasi yang diserap dan jumlah air yang tersedia di suatu permukaan lahan merupakan dua unsur utama yang mengatur suhu

permukaan. Pada saat ketersediaan air menjadi minim baik di lahan yang bervegetasi maupun tidak, maka suhu permukaan akan meningkat[4].

Hasil ekstraksi parameter NDVI dan suhu permukaan tanah akan dilakukan regresi linear untuk menentukan garis batas kering (*dry edge*) sedangkan garis batas basah (*wet edge*) dianggap horizontal. Nilai TVDI yang diperoleh berkisar antara 0 hingga 1. TVDI bernilai 1 berindikasi ketersediaan air yang terbatas (batas kering), sedangkan TVDI bernilai 0 berindikasi terjaminnya ketersediaan air [4].



Gambar 2. 7 Penyederhanan Ts/NDVI (Sandholt dkk. (2002)).

Kekeringan Lahan dari algoritma TVDI disajikan dalam beberapa tingkatan kekeringan. Tingkatan kelas kekeringan lahan TVDI menurut Sandholt dkk. (2002) dapat dilihat pada Tabel berikut [1]:

Tabel 2. 9 Klasifikasi Kekeringan Lahan TVDI

Kelas	Rentang TVDI	Tingkatan
I	$0 \leq TVDI \leq 0,2$	Basah
II	$0,2 \leq TVDI \leq 0,4$	Agak Basah
III	$0,4 \leq TVDI \leq 0,6$	Normal

IV	$0,6 \leq TVDI \leq 0,8$	Agak Kering
V	$0,8 \leq TVDI \leq 1$	Kering

Kerapatan vegetasi dan suhu permukaan tanah sangat berpengaruh pada kelembaban tanah. Secara umum, apabila kerapatan vegetasi semakin tinggi maka kelembaban tanah akan cenderung tinggi atau basah. Berbeda dengan suhu permukaan tanah, apabila suhu permukaan tanah semakin tinggi maka kelembaban tanahnya akan cenderung semakin rendah atau kering. Tingginya kerapatan vegetasi menunjukkan banyaknya kadar air pada tanah, sehingga suhu permukaan tanahnya rendah, begitu pula sebaliknya[14].

2.8 Citra *Global Soil Moisture Data*

Citra kelembaban tanah ini merupakan produk dari NASA-USDA *(National Aerotautics and Space Administration – United Stated Department of Agriculture) Global Soil Moisture Data* dan NASA-USDA SMAP *(Soil Moisture Active Passive) Global Soil Moisture Data* dengan resolusi spasial 0,25°x0,25° (27,75 km)[38]. Kumpulan data ini meliputi: kelembaban tanah permukaan dan bawah permukaan (mm), profil kelembaban tanah (%), dan anomali kelembaban tanah permukaan dan bawah permukaan. Anomali kelembaban tanah tidak bersatu dan mewakili anomali standar yang dihitung menggunakan jendela bergerak 31 hari. Nilai sekitar 0 menunjukkan kondisi kelembaban khusus, sementara nilai yang sangat positif dan sangat negatif menunjukkan pembasahan ekstrim (kondisi kelembaban tanah di atas rata-rata) dan pengeringan (kondisi kelembaban tanah di bawah rata-rata), masing-masing[38].

Dataset ini dihasilkan dengan mengintegrasikan satelit yang berasal Dari *Soil Moisture Active Passive* (SMAP) Tingkat 3 kelembaban tanah pengamatan ke dalam model Palmer dua lapis dimodifikasi menggunakan 1-D *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) pendekatan data asimilasi. Asimilasi pengamatan kelembaban tanah SMAP membantu meningkatkan prediksi

kelembaban tanah berbasis model terutama di daerah yang kurang terjangkau di dunia yang tidak memiliki data curah hujan berkualitas baik [38]. Pengamatan kelembaban tanah SMAP membantu meningkatkan prediksi kelembaban tanah berbasis model terutama daerah di dunia yang tidak memiliki kualitas data curah hujan yang baik [38]. Dataset ini dikembangakan oleh laboratorium ilmu hidrologi di *NASA'S Goddard Space Flight Center* bekerja sama dengan USDA, jasa pertanian, USDA Hidrologi dan *remote sensing lab* [38].

2.9 Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) adalah *platform* berbasis *cloud* dari Google yang mampu melakukan pengolahan informasi geospasial. GEE berbeda dengan Google Earth. Jika pada Google Earth, pengguna akan diajak melakukan eksplorasi bumi dan sesisinya seperti kegiatan tur atau wisata, maka pada GEE pengguna dapat melakukan pengolahan data yang berbentuk citra penginderaan jauh untuk mengekstraksi informasi berbasis spasial mengenai apa yang terjadi atau apa yang berubah di muka bumi [40].

Data yang terdapat pada GEE adalah data yang sebetulnya memang *open access/free access* dari sumber aslinya. Contohnya adalah Landsat, Sentinel, MODIS dan lainnya. Hanya saja, jika pada sumber aslinya kita harus mengunduh data tersebut terlebih dahulu untuk kemudian diproses pada desktop, maka pada GEE data tersebut tidak perlu diunduh, data dapat langsung ditampilkan dan diolah hingga tercapainya tujuan akhir pengolahan [40].

GEE bersifat gratis dan terbuka untuk berbagai kalangan dalam melakukan pengolahan citra (Gorelick dkk., 2017). Meskipun demikian, bagi yang ingin melakukan perjanjian secara komersial, juga dapat dilayani oleh GEE [40].

Terdapat beberapa data topografi yang tersedia dalam GEE, seperti data global SRTM, DEM, DSM, *Soil Moisture,* TRMM, dan data topografi lainnya. Komponen utama dari *platform* Google Earth Engine adalah [39]:

1. *Dataset*

   Berisi mengenai seluruh data citra yang dimiliki oleh GEE. Di dalam *tab* ini kita dapat melakukan pencarian terhadap data yang kita butuhkan. Pencarian dapat dilakukan dengan cara melihat seluruh data yang ada, mencari berdasarkan kata kunci *(tag)*, mencari berdasarkan citra yang telah ditentukan secara spesifik seperti Landsat, MODIS dan Sentinel, serta melakukan penautan API (*Application Programming Interface).* Khusus untuk pencarian berdasarkan citra spesifik seperti Landsat, MODIS dan Sentinel, maka di dalam menu pencarian terdapat klasifikasi citra berdasarkan level pemrosesannya. Pengguna dapat memilih level pemrosesan citra yang digunakan sesuai kebutuhan.

2. *Explorer*

   Explorer adalah web antarmuka sederhana untuk *Earth Engine API.* Hal ini memungkinkan siapa saja untuk memvisualisasikan data dalam katalog data publik. Pengguna GEE yang masuk juga dapat mengimpor data, menjalankan analisis sederhana, menyimpan, dan mengekspor hasilnya.

3. APIs

   Google Earth Engine juga memakai API (*Application Programming Interface)* dengan menggunakan *JavaScript* dan *Python* yang dihostkan ke *Gifthub* untuk melakukan *request* ke *server* Google Earth Engine.

4. *Code Editor*

   Google Earth Engine menggunakan IDE *(Intergrated Development Environment)* dalam jaringan untuk kecepatan dalam membuat *prototype* serta visualisasi data spasial yang kompleks dengan analisis yang kompleks menggunakan *JavaScript* API.

2.10 Analisis Statistik

2.10.1. Analisis Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi merupakan metode statistika yang banyak digunakan dalam penelitian. Istilah regresi pertama kali diperkenalkan oleh Sir Francis Galton pada tahun 1986. Secara umum, analisis regresi adalah kajian terhadap hubungan satu variabel yang disebut sebagai variabel yang diterangkan dengan satu atau dua variabel yang menerangkan. Variabel yang diterangkan selanjutnya disebut sebagai variabel respon, sedangkan variabel yang menerangkan biasa disebut variabel bebas[21]. Uji analisis regresi adalah studi mengenai ketergantungan salah satu dependen (terikat) dengan salah satu atau lebih variabel independen (penjelas/bebas)[26]. Uji analisis regresi bertujuan untuk mengetahui apakah regresi yang dihasilkan adalah baik untuk mengestimasikan nilai variabel dependen[26]. Analisis regresi dibagi menjadi 2, apabila banyaknya variabel bebas hanya ada satu, disebut sebagai regresi linier sederhana, sedangkan apabila terdapat lebih dari 1 variabel bebas, disebut sebagai regresi linier berganda. Peneliti menggunakan regresi linier sederhana yaitu hanya menggunakan 2 variabel dan bentuk hubungan antara variabel X dan variabel Y atau satu variabel independen dengan satu variabel dependen[24]. Persamaan umum regresi linier sederhana adalah[27]:

$$Y = aX + b \tag{2.8.1}$$

Keterangan:

Y = Variabel terikat (*dependent),* persamaan garis lurus Y atas X

a = Koefisien regresi merupakan koefisien arah dari garis regresi (*slope/*kelandaian*)*

b = Koefisien yang merupakan titik potong dari garis regresi dengan sumbu tegak X (*intersept*/perpotongan*)*

X = Variabel bebas prediktor *(independent)*

Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan menggunakan

persamaan [19]:

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$b = \frac{n\ (\sum X_i\, Y_i) - (\sum X_i)\,(\sum Y_i)}{n\sum X_i^2\ - (\sum X_i)^2} \qquad (2.8.2)$$

Yang mana nilai *n* = jumlah data

Regresi Linier melibatkan 2 variabel dimana salah satunya adalah variabel independen (x) dan satu lagi adalah variabel dependen (y). Independen berarti variabel ini sebagai variabel utama yang mungkin akan mempengaruhi nilai variabel kedua (dependen). Dependen berarti nilai variabel ini akan tergantung dari nilai variabel independennya, jika korelasi tinggi maka dependensi juga tinggi.

2.10.2. Analisis Koefisien Determinasi

Menurut Sugiyono (2014), Analisis koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui seberapa besar persentase sambungan variabel independen secara bersamaan terhadap terhadap variabel dependen[24]. Koefisien determinasi (R^2) digunakan sebagai informasi mengenai kecocokan suatu model[25]. Nilai koefisien determinasi antara 0 sampai dengan 1. Dinamakan koefisien determinasi karena R^2 x 100% daripada variasi yang terjadi dalam variabel tak bebas Y dapat dijelaskan oleh variabel bebas X dengan adanya regresi linier Y atas X[2]. Besarnya harga koefisien determinasi adalah berkisar $0 < R^2 < 1$. Artinya jika R^2 mendekati 1 maka dapat dikatakan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat adalah besar. Berarti model yang digunakan baik untuk menjelaskan pengaruh variabel tersebut. Untuk memastikan tipe hubungan antar variabel dengan berpedoman pada Tabel 2.10 sebagai berikut[24]:

Tabel 2. 10 Interpretasi Koefisien

(Sumber: Sugiyono, 2012)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah

0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Berikut rumus untuk menghitung koefisien determinasi[28].

$$R^2 = 1 - \frac{(n-k-1)S^2_{y.12\ldots k}}{(n-1)S^2_y} \quad (2.5.5)$$

Keterangan:

R^2 = Koefisien determinasi

S_y = Standar deviasi variable terikat Y

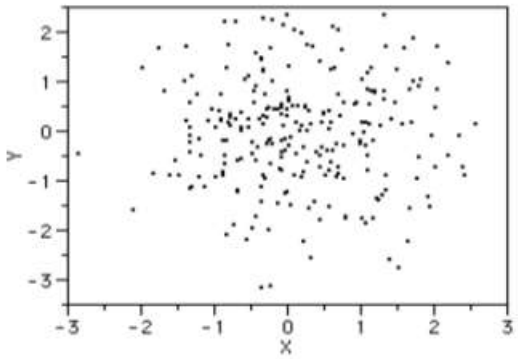
n = banyak sampel

2.10.3. Kisaran Korelasi

Kisaran *(Range)* korelasi mulai dari 0 sampai dengan 1. Korelasi dapat positif dan dapat pulan negatif. Kisaran korelasi dibagi menjadi 3, yaitu[29]:

1. Korelasi sama dengan nol

Korelasi sama dengan 0 mempunyai arti tidak ada hubungan antara dua variabel. Jika dilihat dari sebaran data, maka gambarnya akan terlihat seperti gambar di bawah ini:

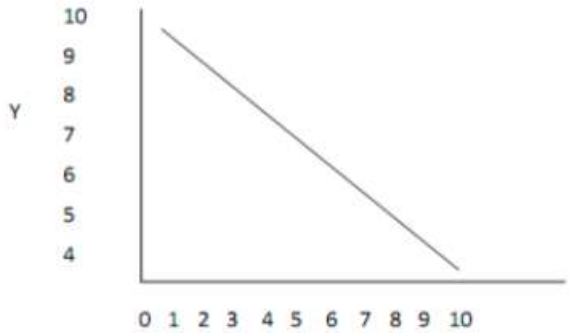


Gambar 2. 8 Korelasi dimana r=0

2. Korelasi sama dengan minus satu (Korelasi Negatif)

Korelasi sama dengan -1 atau korelasi negatif, artinya kedua variabel mempunya hubungan linier sempurna (membentuk garis lurus) negatif. Korelasi sempurna seperti ini mempunya makna jika nilai X

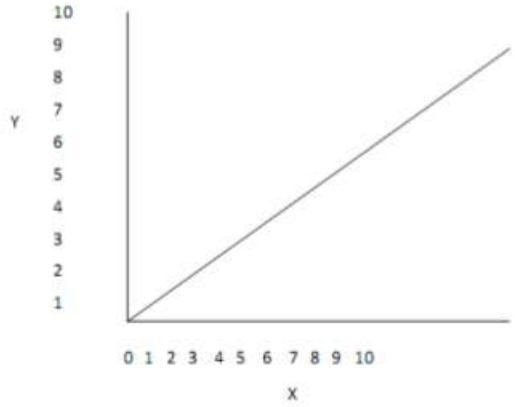
naik, maka nilai Y turun dan sebaliknya, seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2. 9 Korelasi dimana r = -1

3. Korelasi sama dengan satu (Korelasi Positif)

Korelasi sama dengan +1 atau korelasi positif artinya kedua variabel mempunya hubungan linier sempurna (membentuk garis lurus) positif. Korelasi sempurna seperti ini mempunya makna jika nilai X naik, maka Y juga naik, seperti gambar berikut ini.



Gambar 2. 10 Korelasi dimana r = +1